



كلية هندسة البترول
Faculty of Petroleum Engineering

صفات الخزانات المتشقة

السنة الخامسة

المحاضرة الثانية

الدكتور نضال شقير

2019 - 2018

مفاهيم أساسية حول ميكانيكية الصخور والسائل والغاز

استجابة الصخور على تطبيق الأحمال:

تتألف مواد الأرض من الصخور الصلبة والتربة والسوائل .

الصخور الصلبة هي تجمع كثيف لحببيات الفلزات.

ويمكن تعريف التربة أي شيء يمكن حفرة بال مجرفة .

أما السوائل هي عبارة الماء والماغا والبترول والغلاف **الجوي**.

حالات الصخور يمكن أن يعبر عنها بالأطوار الثلاث في اغلب الحالات الصلب والسائل والغازي.

وان اغلب الصخور تحتوي فراغات بين الحبيبات، وهذه الفراغات غالبا ما تعبأ بنوع من أنواع الموائع أو السوائل أو الغازات.

حجم حيز الفراغ من حيث كمية ونوع المائع تتأثر بـميكانيكية سلوكية المادة.

المسامية (porosity) و نسبة الفراغ (void ratio)

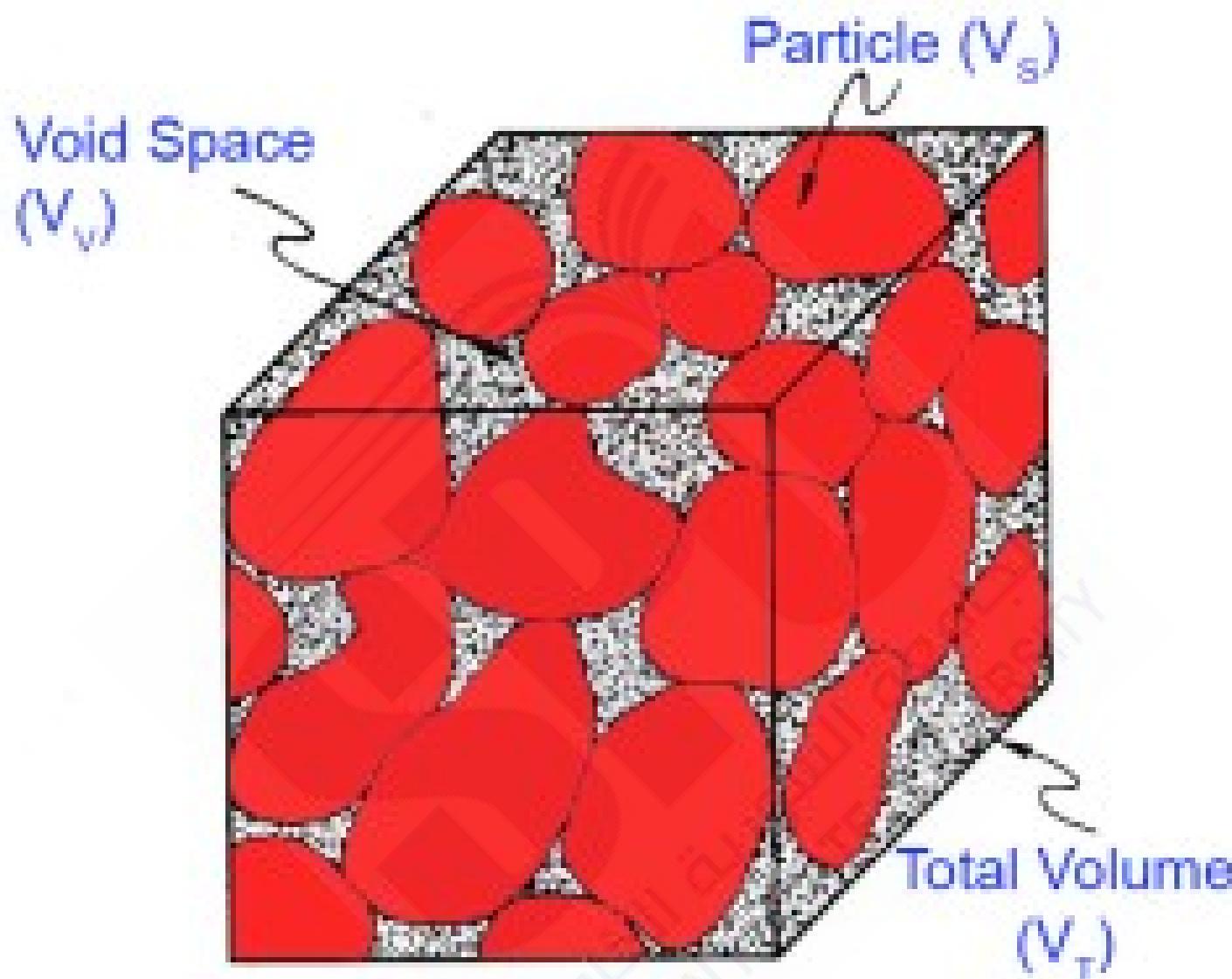
هي بارامترات تستخدم لقياس علاقة حجم حيز الفراغ (void space). كما في الشكل التالي:

$$n = V_v / V_T \quad \text{حيث : \% porosity يعبر عنها :}$$

حجم الفراغ ، void volume = V_v
حجم الكلي للصخر. total rock volume = V_T

$$e = V_v / V_s \quad (\text{void ratio}) \quad \text{حيث :}$$

حجم الفراغ، void volume = V_v
حجم الجزء الصلب. volume of solids = V_s



$$\text{Porosity, } n = V_v/V_T; \quad \text{Void Ratio, } e = V_v/V_s$$

الشكل يمثل المسامية ونسبة الفراغ والحجم الكلي

أما النفاذية (permeability): نسبة المائع الذي يتحرك خلال بنية المادة. وتحدد بحجم الفراغ وترابطه أو اتصاله ومواصفات المائع الموجود (درجة الحرارة، الزوجة، الكثافة).

النفاذية الأصلية (intrinsic permeability) – k (cm^2 & Darcy's) – النفاذية تُحدد بخصائص المادة (الحجم والشكل ومجموع الحبيبات) و (درجة السمنتة) و (درجة التشقق).

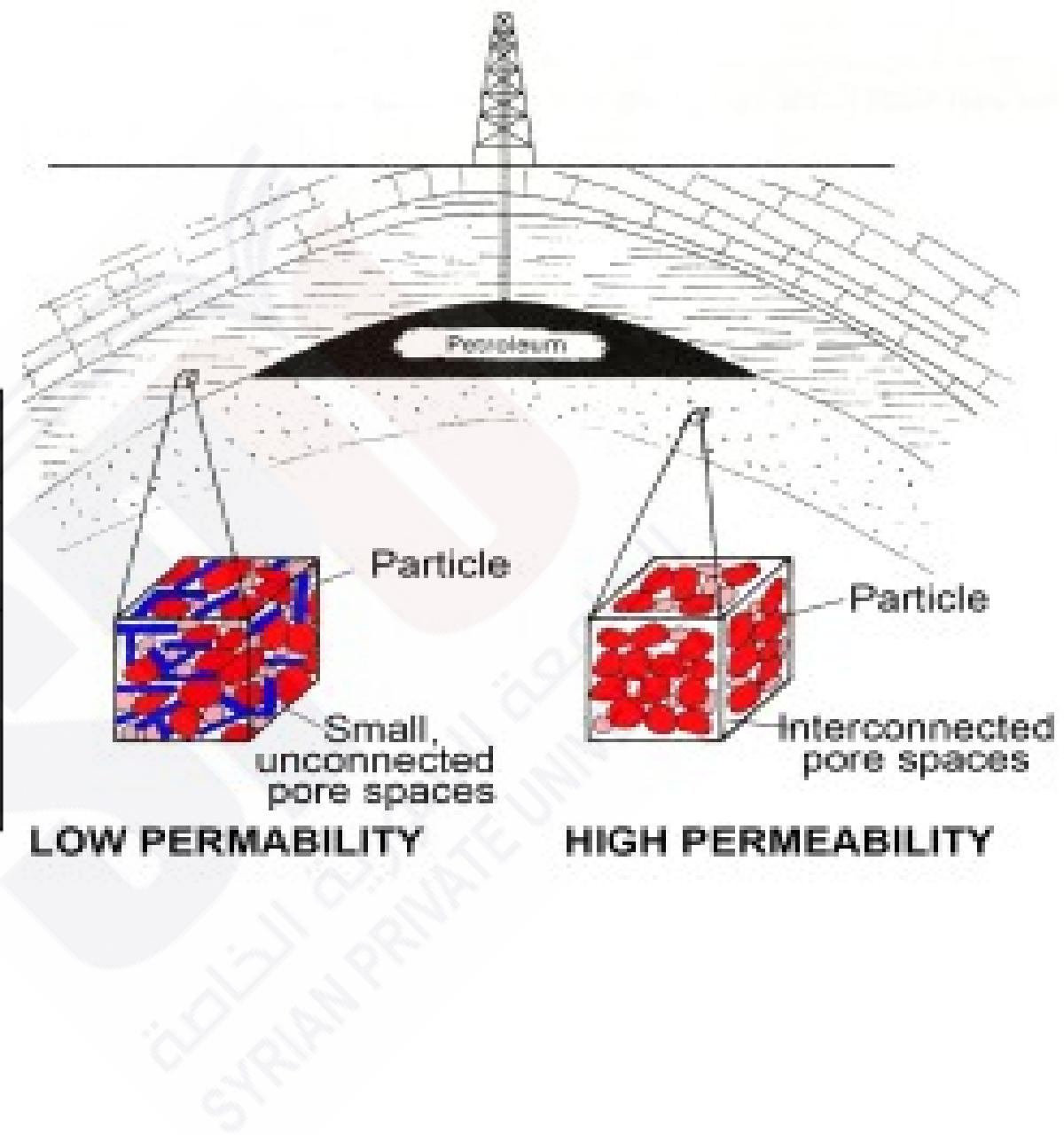
– (cm/s , m/s) – k (hydraulic conductivity) التوصيل الهيدروليكي (التوصيل قدرة الصخور أو التربة لتمرير المياه.

$$K = k * [(\rho g) / \mu] \quad \text{حيث:}$$

k - النفاذية الأصلية، ρ - كثافة المياه، μ - زوجة المياه، g - تسارع الجاذبية الأرضية.

حيث المسامية و النفاذية العالية للمواد تملك موصاية هيدروليكية عالية. أهميتها بالآبار والحقول النفطية والمكامن.

Unfractured Igneous	Low k	Low K
Shale	Low k	Low K
Karst limestone	High k	High K
Gravel	High k	High K



خصائص الجهد الانفعال (الإجهاد) التشوه
stress, strain, deformation characteristics

الضغط (stress)- الجهد (pressure)

أنواع الجهد :

ضغطي (compressive) جهد متساوي القوة على نقطة معينة من اتجاهين متعاكسين.

شدي (tensile) جهد متساوي القوة على نقطة معينة باتجاهين متعاكسين .

قصي (shear) جهد على نقطتين مختلفتين متعاكستين من اتجاهين متعاكسين.



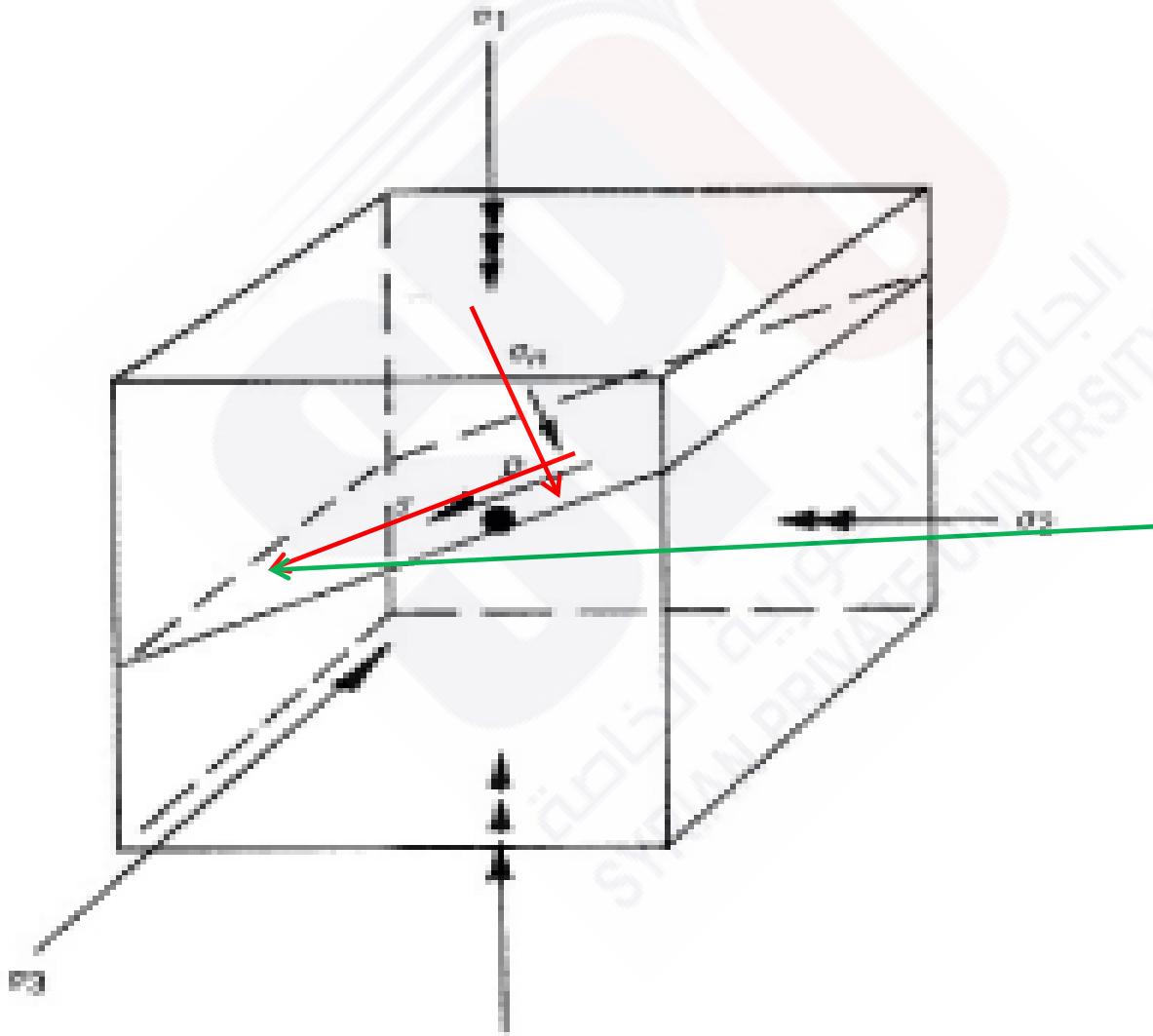
compressive

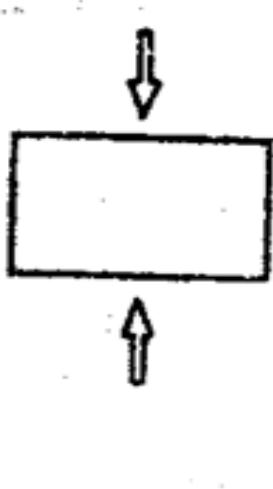
tensile

shear

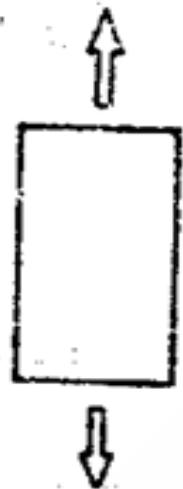
الضغط أو الجهد على أي نقطة من نقاط **الهدف (الجسم)** يمكن أن تحدد الاجهادات الرئيسية الثلاث σ_1 , σ_2 , σ_3 المتعامدة تبادلياً. وهي : الاعظمية والوسطى والصغرى.

و على أي مسوي من مستويات **الجسم الهدف**، هناك جهد ناظمي (σ_n) عمودي على المستوى، وجهد قصي بشكل موازي مستوى (τ)

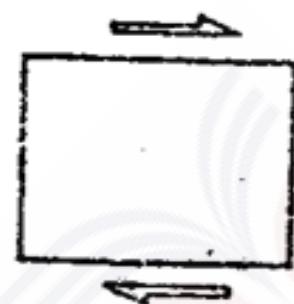




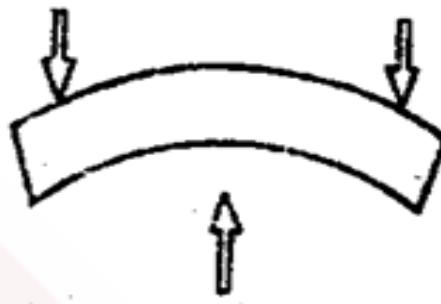
قص



شد



مزدوجة



ثني



قتل

الجهد العمودي (σ_v) للطبقات يمثل عبر مستو أفقى لأعمق قليلة h يمكن أن تحسب كما يلي:

$$\sigma_v = \gamma h + P_a$$

γ = الوزن النوعي للصخر ،

h = العمق حتى نقطة معينة تحت سطح الأرض.

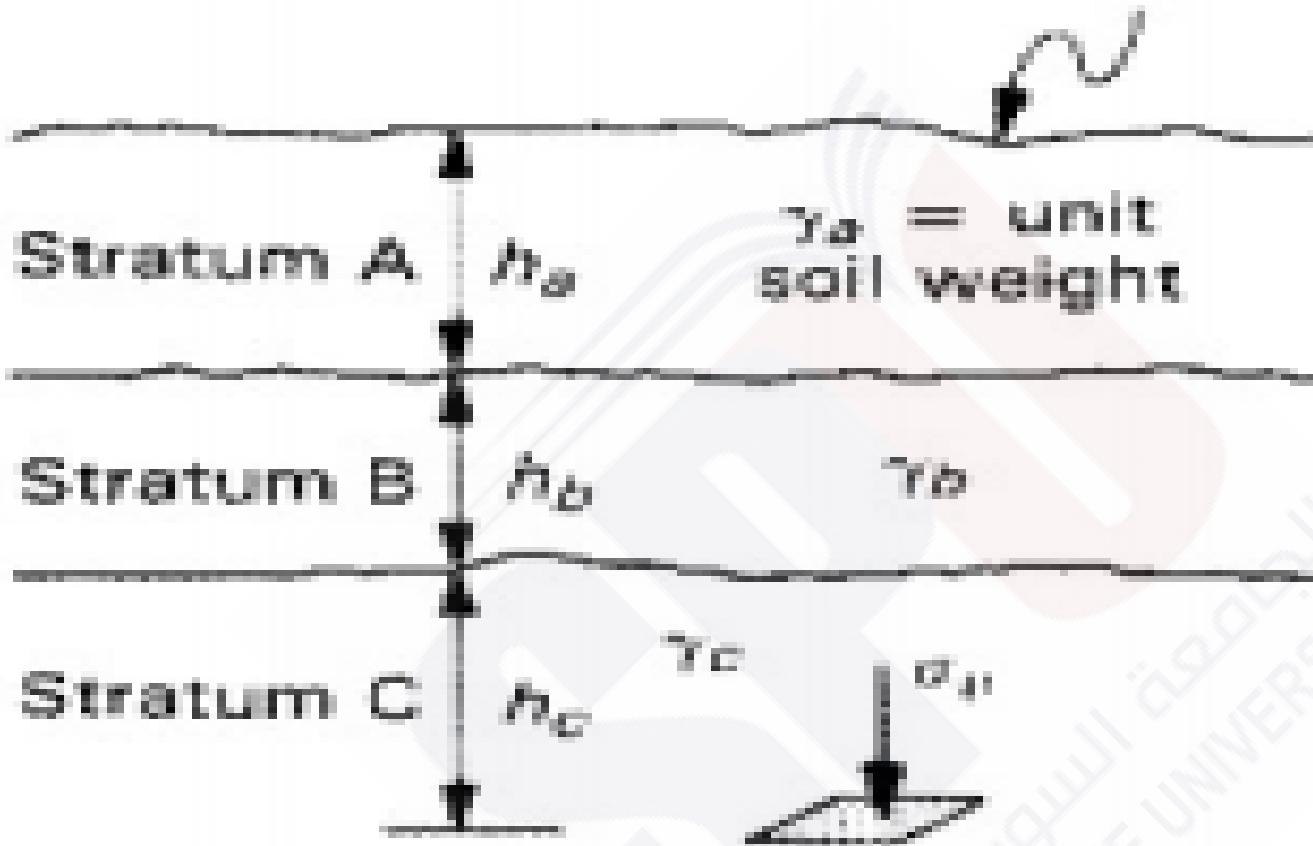
P_a = الضغط الجوي (غالباً تهمل)

هذه المعادلة تفترض جسم ثابت من الصخور فوق النقطة.

ويمكن الحساب لعدة طبقات مختلفة التخانة والمواصفات كما في الشكل التالي من المعادلة التالية:

$$\sigma_v = \gamma_a h_a + \gamma_b h_b + \gamma_c h_c$$

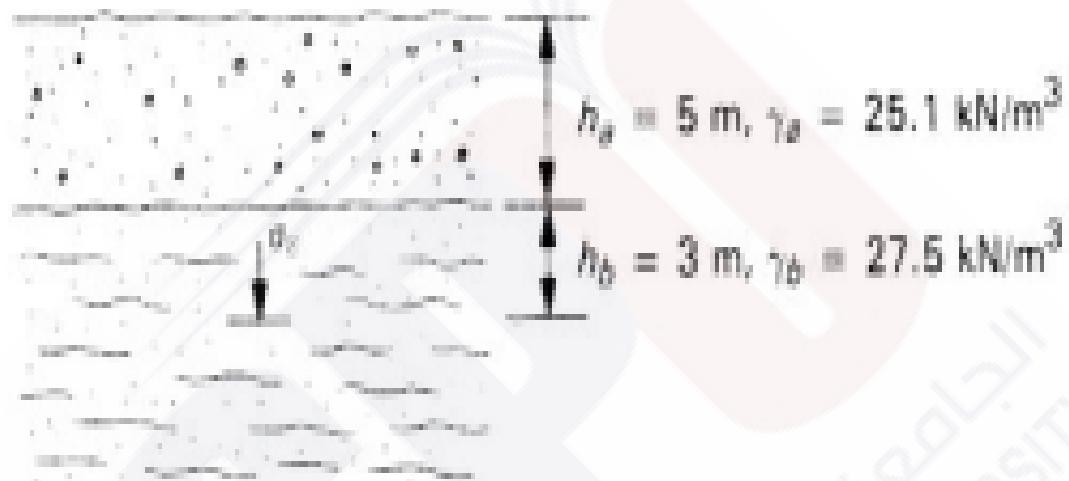
Ground surface



$$\sigma_z = \gamma_s h_A + \gamma_b h_B + \gamma_c h_C$$

Calculate the vertical stress at a depth of 8 m at a location where a 5-m bed of sandstone with a unit weight of 25.1 kN/m^3 overlies a thick shale unit with a unit weight of 27.5 kN/m^3 .

Solution



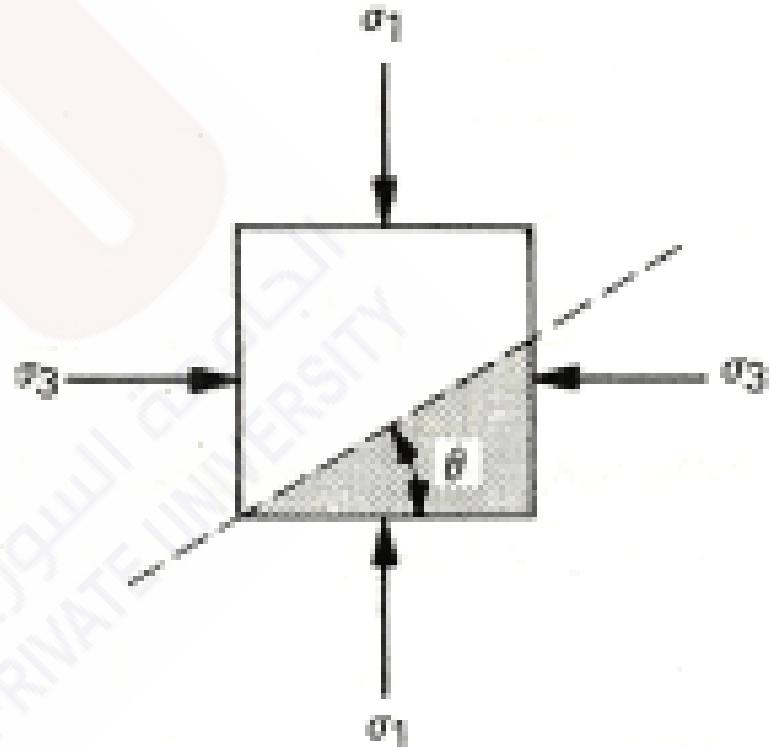
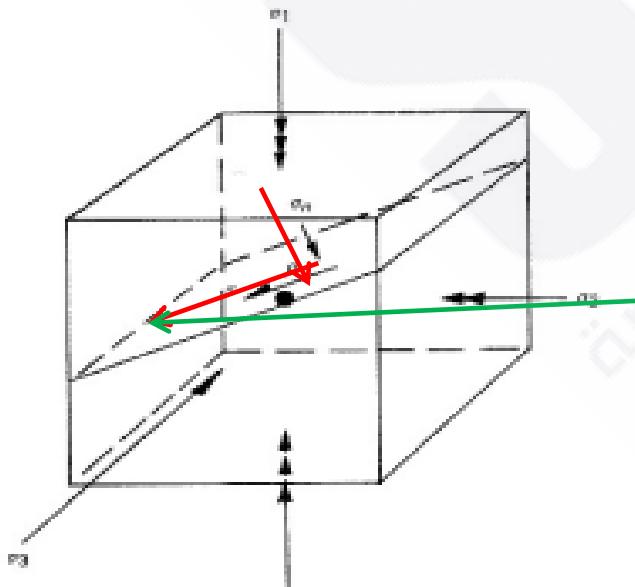
$$\sigma_v = \gamma_a h_a + \gamma_b h_b$$

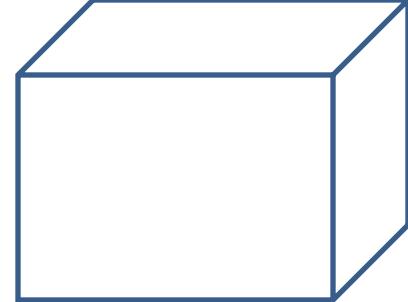
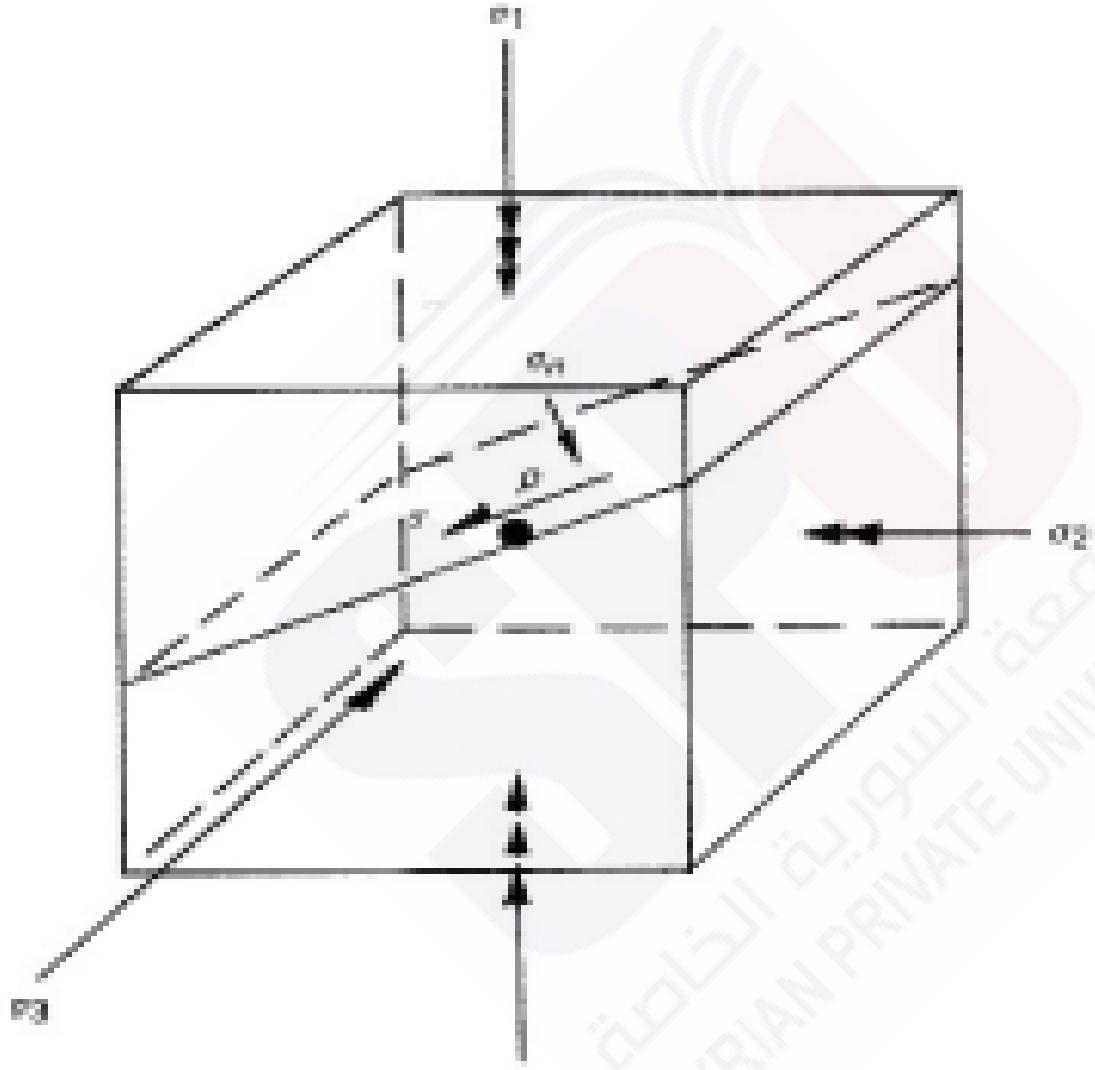
$$\sigma_v = 25.1 \text{ kN/m}^3 \times 5 \text{ m} + 27.5 \text{ kN/m}^3 \times 3 \text{ m}$$

$$\sigma_v = 208 \text{ kN/m}^2$$

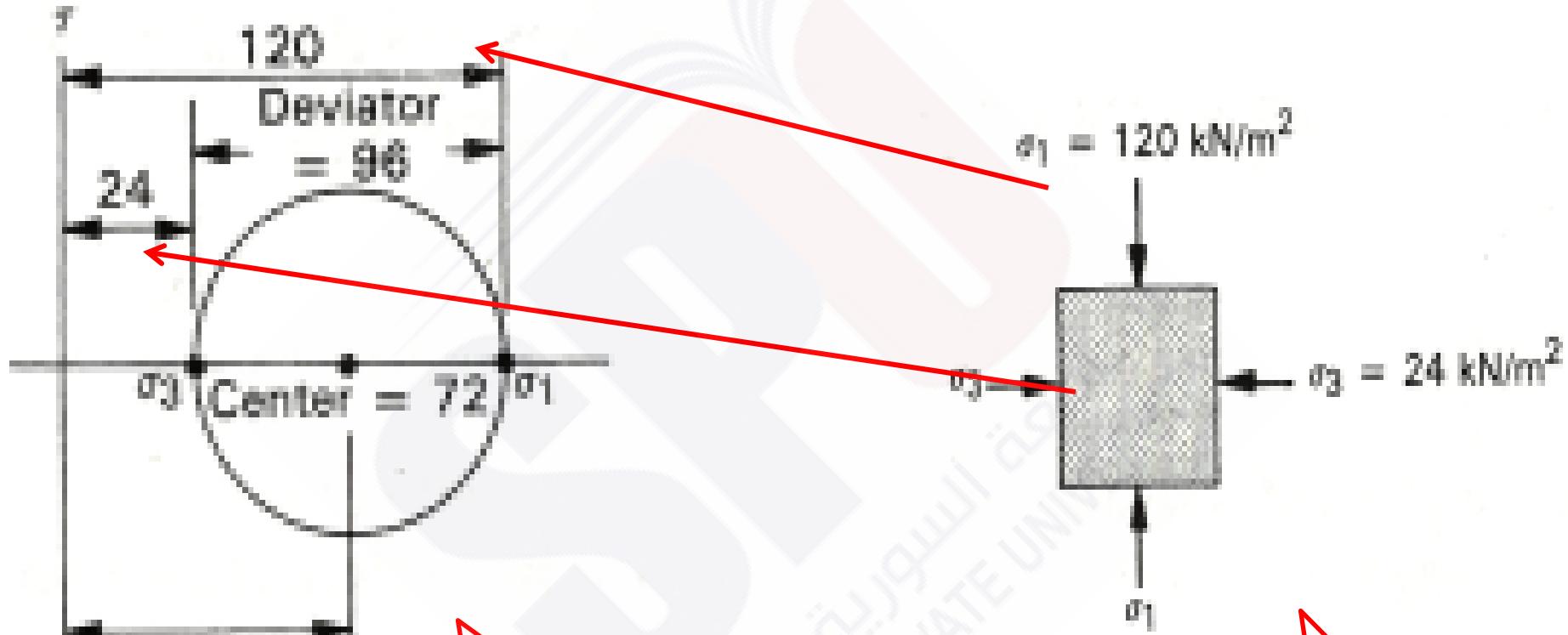
المعادلات السابقة يمكن تطبيقها إذا رغبنا في تحديد الجهد على المستوى الأفقي (الأفقي) الرئيسي.

موقع المستوى العشوائي يمكن توجيهه بالزاوية θ حيث تقام بعكس عقارب الساعة من المستوى الأفقي الرئيسي.





كيف يتم التعامل في حالة السطح المائل، باستخدام دائرة مور (Moh's Circle) كما في الأشكال التالية:



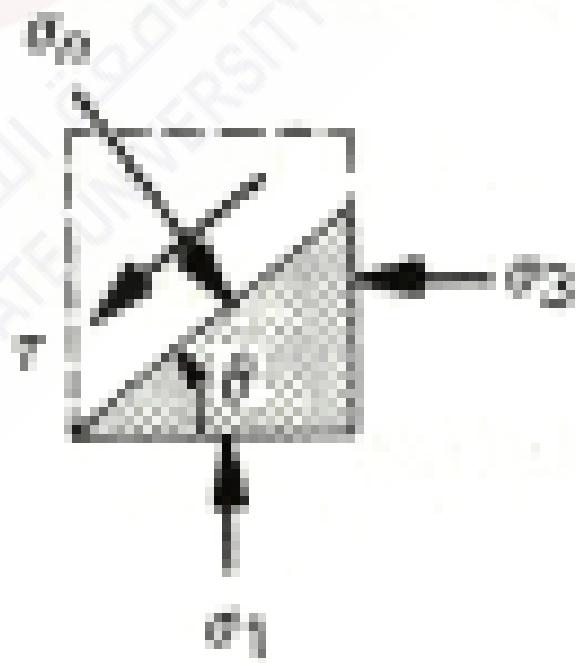
تغيرات الجهد هي فرق بين σ_1 و σ_3 .

الجهد المؤثر على عنصر بشكل متزايد حول نقطة تحت السطح.



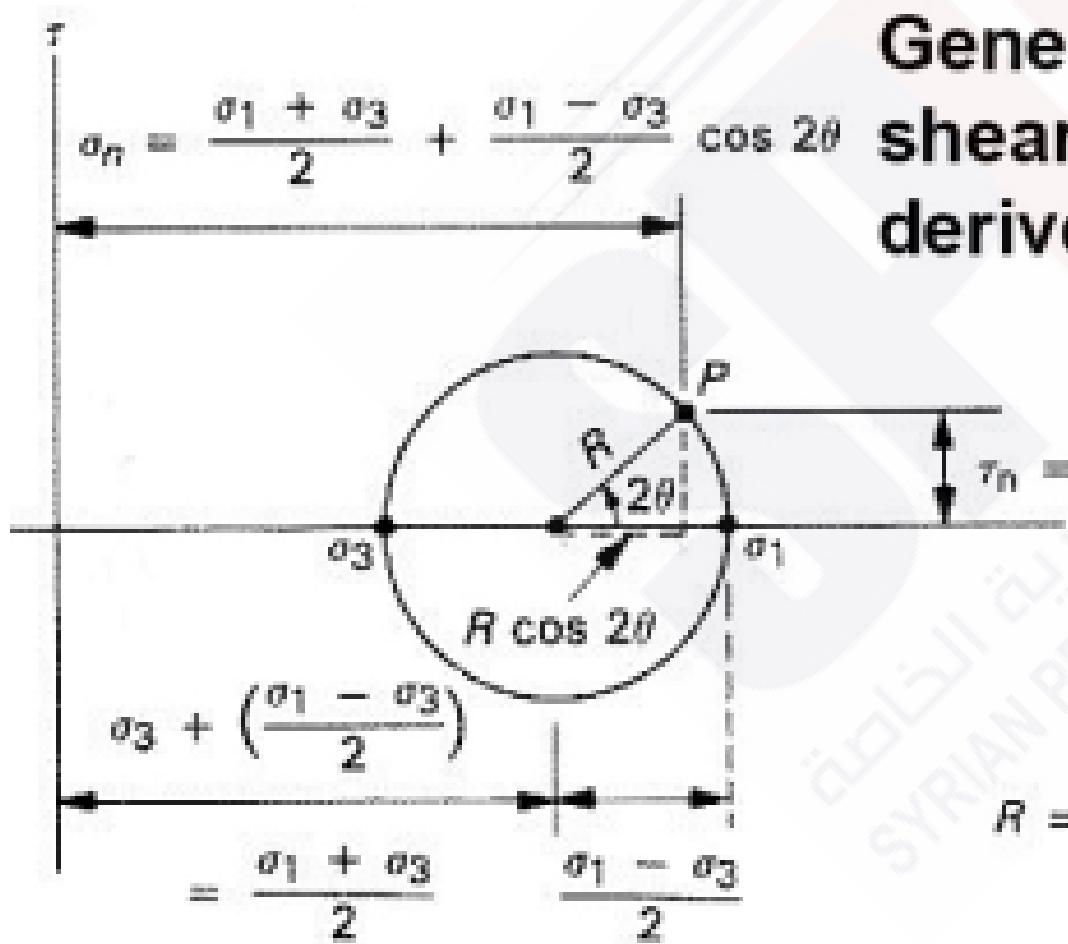
تمثيل العلاقة بين مستويات الجهد المؤثر على عنصر بشكل تزايدى إلى النقاط الموجودة على دائرة مور

دائره مور: تمثيل بياني للجهد القصي و الناظمي للمستويات المائلة

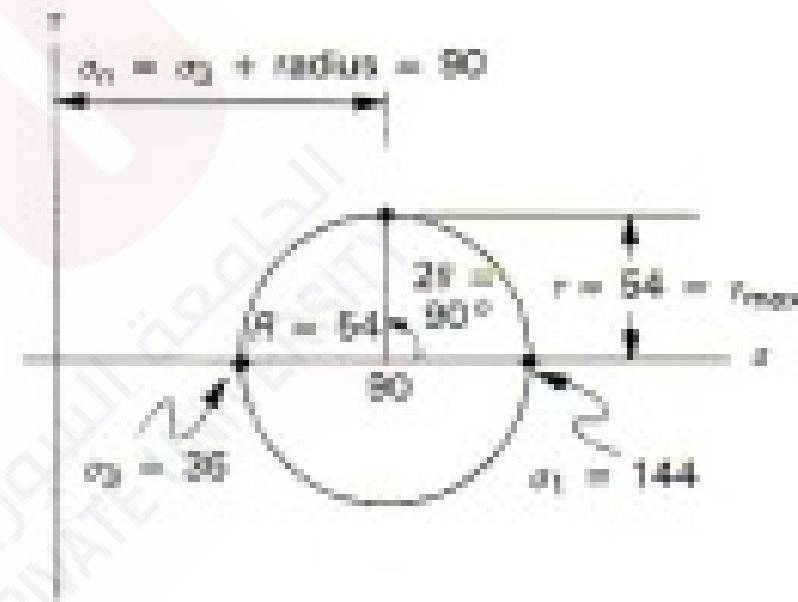
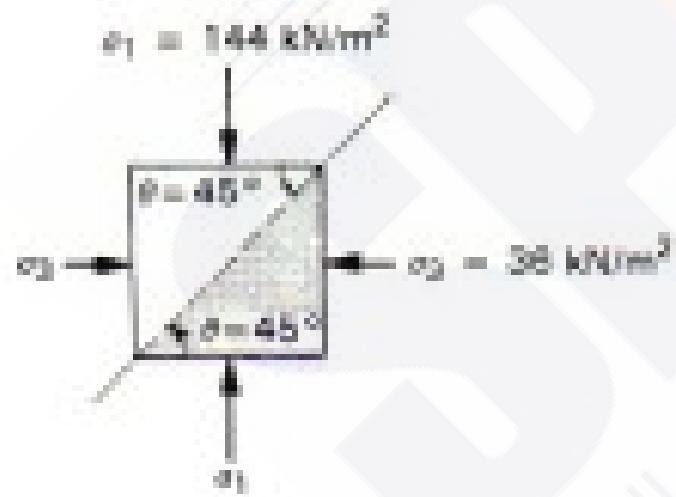


المعادلات العامة للجهد القصي والناظمي المشتقة من دائرة مور

General equations for shear and normal stress derived from Mohr's circle



Vertical and horizontal principal stresses are 144 kN/m^2 and 36 kN/m^2 , respectively. Determine the normal and shear stresses on a plane inclined at 45° to the principal plane. As shown, θ is measured counterclockwise from the major principal plane and angle 2θ , or 90° , is measured counterclockwise from the center of Mohr's circle. In this case, σ_n is equal to σ_3 plus the radius, and τ , the shear stress, is equal to the radius. It is evident from the diagram that a plane inclined at 45° from the major principal plane will have the highest value of shear stress of any plane.



$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{144 - 36}{2} = 54 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_n = \sigma_3 + \text{radius} = 36 + 54 = 90 \text{ kN/m}^2$$

التشوه - استجابة للجهد

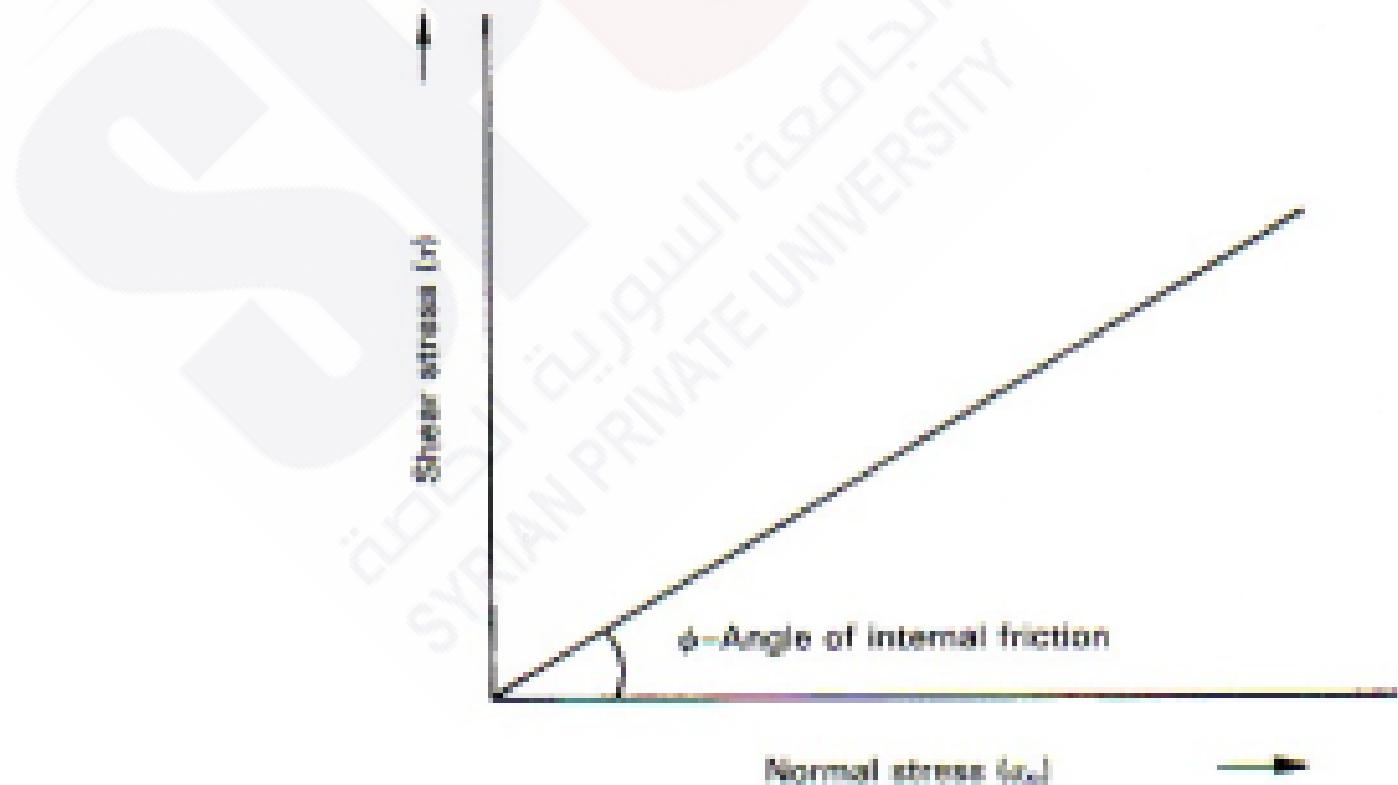
تطبيق الجهد يسبب تشوّهات في جسم الصخور.
كمية التشوه تسمى إجهاد أو انفعال (strain) (تشوه).
نوع وكمية الاجهادات ومن خلال التجارب المحددة لمواد معينة يعتمد
على: نوع الجهد المطبق والعمق ودرجة الحرارة.

قوة أو مقاومة الضغط

- عِزْز الصخور الهشة هي النقطة التي عندها تخسر الصخور كل مقاومتها للجهد وتنهار.
- في المواد اللدنـه من الصعب تحديد نقطة العِزـز بسبب استمرار التشوـهات ضمن مستوى جهد معين.
- متانة او قوة المواد اللدنـه تحدد بمستوى الجهد حتى العِزـز.

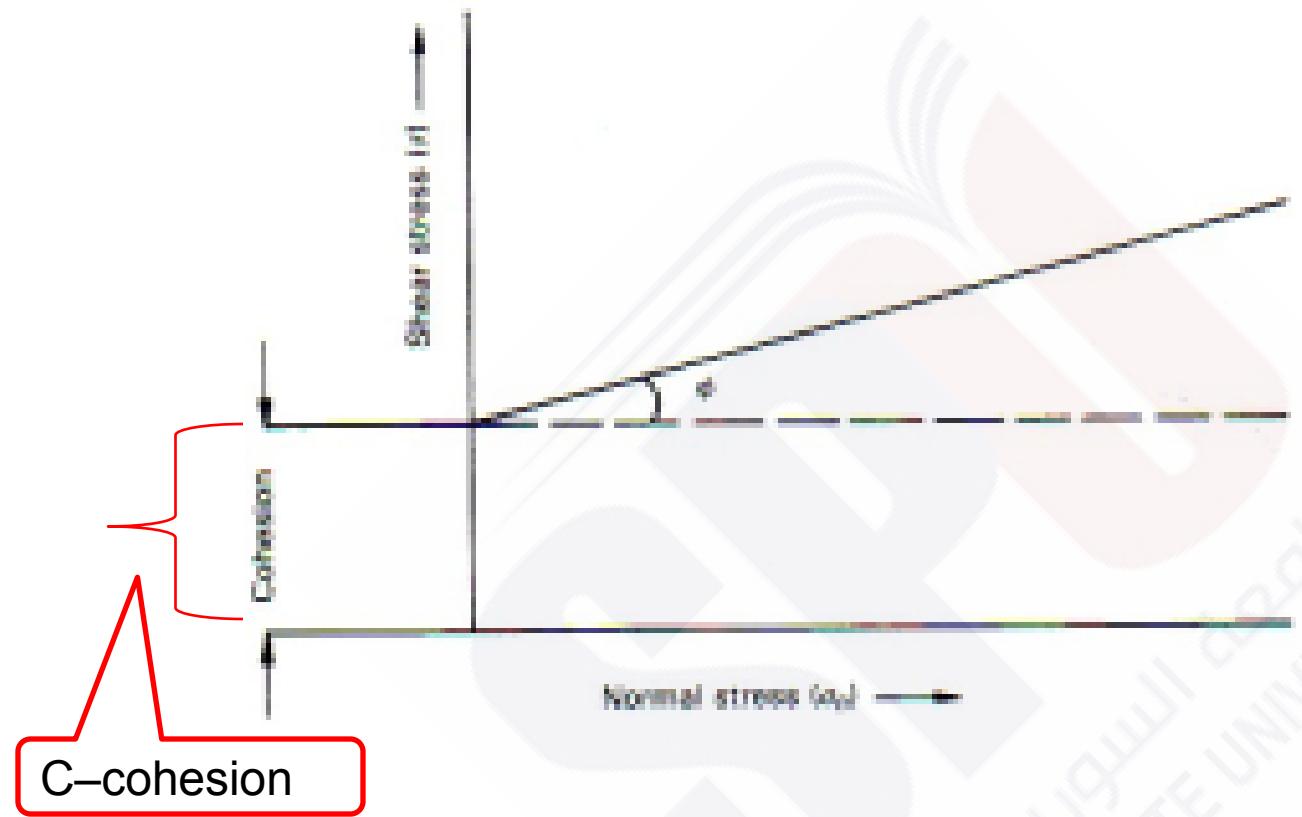
للمواد غير الصلبة :
في الرمل الجاف العلاقة بين الجهد الناظمي (σ_n) وقوة
القص (S) هي خطية، كما في الشكل:

$$S = \sigma_n \tan \phi$$



$$S = C + \sigma_n \tan \phi$$

ϕ = Angle of internal friction



للمواد الصلبة (التراب المتماسكة) إن العلاقة هي كذلك الأمر خطية ولكن هنا قوة القص الكامنة (الأساسية) هي بسبب الترابط بين الحبيبات أي التماسك كما في الشكل (cohesion- C)



Large triaxial press, used for deformation experiments and materials testing

